

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ЗАПОЛНЕНИЯ БУНКЕРА- ДОЗАТОРА НА ПОКАЗАТЕЛИ ИЗМЕРЕНИЯ ВЕСА ГОРНОЙ МАССЫ

С. А. Засыпкина¹, А. Л. Карякин², А. Д. Пашко¹

¹ Негосударственное частное образовательное учреждение высшего образования
«Технический университет УГМК», Верхняя Пышма, 624091, Россия,
e-mail: University@tu-ugmk.com

² Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, 620144, Россия,
e-mail: science@ursmu.ru

Аннотация: Статья посвящена проблеме повышения эффективности скиповых подъёмных установок, оснащённых системой автоматической загрузки скипа. Целью исследования являлось на теоретическом уровне обосновать конструкцию установки весоизмерительных датчиков и условия загрузки бункера-дозатора при проектировании весоизмерительной системы, учитывая форму сыпания горной массы при заполнении дозатора. Рассмотрен процесс функционирования дозирующего устройства, обеспечивающего автоматическую отсечку потока горной массы загрузочным устройством при накоплении в дозаторе. Разработана трехмерная модель сборки корпуса дозатора и горной массы. Выполнено моделирование процесса работы бункеров и расчет нагружения опорных точек с различными вариантами сыпания горной массы с использованием САЕ-системы автоматизированного расчета и проектирования механического оборудования и конструкций. При моделировании применены методы вычислительной математики, численных методов и программирования, метод конечных элементов, а также аппарат математической статистики. В результате получены соотношения силы реакции опор в направлениях X , Y и Z при различных вариантах заполнения дозатора. Выявлена необходимость увеличения коэффициента запаса прочности k до 3,5 в случае асимметричности сыпания горной массы в дозатор. Определены критерии оптимальной работы весоизмерительной системы дозатора при корректировке номинальной шкалы датчиков. Выработаны рекомендации по проектированию весоизмерительной системы дозатора горной массы.

Ключевые слова: автоматическая загрузка скипа, бункер-дозатор, весоизмерительная система, тензометрический метод измерения, компьютерное моделирование, метод конечных элементов, запас прочности, вместимость бункера, дозирование горной массы, опоры дозатора.

Для цитирования: Засыпкина С. А., Карякин А. Л., Пашко А. Д. Исследование влияния неравномерности заполнения бункера-дозатора на показатели измерения веса горной массы // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 1-1. – С. 115–127. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_011_0_115.

Analysis of the effect of uneven filling of the hopper dispenser on the indicators of measuring the weight of rock mass

S. A. Zasyapkina¹, A. L. Karyakin², A. D. Pashko¹

¹ Non-state Higher Educational Establishment «UMMC Technical University», Verkhnyaya Pyshma, 624091, Russia, University@tu-ugmk.com

² Ural State Mining University, Yekaterinburg, 620144, Russia, e-mail: science@ursmu.ru

Abstract: The article is devoted to the problem of increasing the efficiency of skip lifting rigs equipped with an automatic skip loading system. The aim of the study was to substantiate at the theoretical level the design of the installation of weighing sensors and the loading conditions of the metering hopper when designing the weighing system, taking into account the form of rock mass scattering when filling the dispenser. The process of functioning of a dosing device that provides automatic shut-off of the ore flow by the loading device during accumulation in the dispenser is considered. A three-dimensional model of the assembly of the dispenser body and rock mass has been developed. The simulation of the process of operation of bunkers and the calculation of the loading of reference points with various options of rock mass deposition using the CAE system of automated calculation and design of mechanical equipment and structures APM WinMashine. Methods of computational mathematics, numerical methods and programming, the finite element method, as well as the apparatus of mathematical statistics are used in modeling. As a result, the ratios of the reaction forces of the supports in the X, Y and Z directions are obtained, with different filling options of the dispenser. The necessity of increasing the coefficient of safety margin k to 3.5, in the case of asymmetry of rock mass pouring into the dispenser, is revealed. The criteria for optimal operation of the weighing system of the dispenser when adjusting the nominal scale of the sensors are determined. Recommendations on the design of the weighing system of the rock mass dispenser have been developed.

Key words: automatic skip loading, hopper dispenser, weighing system, strain gauge measurement method, computer modeling, finite element method, safety margin, hopper capacity, dosing rock mass, supports dispenser.

For citation: Zasyapkina S. A., Karyakin A. L., Pashko A. D. Analysis of the effect of uneven filling of the hopper dispenser on the indicators of measuring the weight of rock mass. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2024;(1-1):115–127. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_011_0_115.

Введение

Актуальность повышения эффективности операций доставки горной массы на поверхность шахт и рудников обусловлена техническими и технологическими ограничениями производительности скипового подъёма, которые в значительной мере определяют производительность горного предприятия. Сказанное подтверждается рядом публикаций, посвященных рассматриваемой тематике [1–3]. В частности, установлены закономерности фор-

мирования производительности проходческих машин при строительстве автомобильных тоннелей и разработке рудных месторождений, учитывающие взаимосвязь между производительностью исполнительного, погрузочного и транспортирующего органов. Предложены и обоснованы решения, позволяющие усовершенствовать конструкцию и повысить надежность применяемой техники [4–6]. Необходимость моделирования и выбора параметров перегрузателей в составе комплектов проход-

ческого оборудования для проведения горных выработок связана с тем, что процесс погрузки и транспортирования горной массы в условиях рудников и тоннелей имеет существенное отличие — цикличность. Для обеспечения непрерывности процесса погрузки и повышения эффективности производства работ на рудниках и в тоннелях применяется бункер-дозатор, который во время ожидания служит накопителем горной массы, а в процессе автоматической загрузки в скипы заданной порции руды является одновременно и накопителем, и перегружателем [7].

При проектировании машин, строительных конструкций, технологических процессов в научных исследованиях сегодня широко применяются программные комплексы компьютерного инженерного анализа (CAE), основанные на методе конечных элементов (МКЭ). Они позволяют численно решать самые разнообразные задачи из таких областей физики, как механика твёрдого деформируемого тела, механика жидкости и газа, теплопередача, электродинамика. Возможно решение связанных задач. Есть специализированные пакеты на базе МКЭ, которые предназначены для определённых технических приложений.

Главные достоинства МКЭ:

1) исследуемые объекты могут иметь любую форму и различную физическую природу — твёрдые деформируемые тела, жидкости, газы, электромагнитные среды;

2) конечные элементы могут иметь различную форму, в частности криволинейную, и различные размеры;

3) можно исследовать однородные и неоднородные, изотропные и анизотропные объекты с линейными и нелинейными свойствами.

Сегодня МКЭ является мощным инструментом инженерного анализа

и физических исследований благодаря созданию пакетов компьютерных программ, которые не только реализуют вычислительный процесс, но и имеют удобный интерфейс для ввода исходных данных, контроля процесса вычислений и обработки результатов расчёта [8].

К настоящему времени опубликовано значительное количество работ, в которых на теоретическом уровне обоснованы конструкция и безопасные режимы работы бункера-дозатора [9–12].

Существующие методы контроля полной массы груза базируются преимущественно на тензометрических методах измерения [13–15], разработанных во второй половине XX века. Основным недостатком систем, реализующих тензометрический метод измерения, является необходимость интеграции весоизмерительного модуля непосредственно в конструкцию опорных узлов дозатора. Деформация опор бункеров-дозаторов свидетельствует о неравномерности распределения нагрузок на опоры, наиболее частой причиной которой служит неравномерность заполнения бункера-дозатора горной массой.

Таким образом, актуальными являются задачи развития методов контроля заполнения бункера горной массой для наиболее полной загрузки скипа и не превышения допустимого веса горной массы и управления процессом заполнения в зависимости от формируемой толщины слоя горной массы в бункере с целью ограничения динамических нагрузок на весоизмерительные устройства.

Методы

В исследовании рассматривается дозирующее устройство, предназначенное для автоматической загрузки в скипы заданной порции руды,

поступающей в дозатор объёмом 4,6 м³ из подземного бункера. Дозирующее устройство работает в автоматическом режиме. Дозирование руды производится взвешивающим устройством, оснащённым электронно-тензометрическим комплексом дозирования скипов. Комплекс обеспечивает автоматическую отсечку потока руды грузочным устройством при накоплении в дозаторе заданного количества руды по весу.

С целью оценки нагружения опор бункера выполнено трехмерное моделирование геометрических параметров дозатора и насыпи горной массы в среде системы трехмерного проектирования «КОМПАС 3D». Расчет произведен с использованием САЕ-системы автоматизированного расчета и проектирования механического оборудования и конструкций в области машиностроения APM WinMashine. Модель представляет собой сборку из 2 элементов — корпуса дозатора массой 27,8 тонны и горной массы 15 тонн с изменяемой геометрической формой.

Для установления зависимостей между силой реакции опоры и формой засыпаемой массы, выполнено моделирование процесса нагружения бункеров [16, 17] с разными вариантами ссыпания массы (рис. 1): горизонтальное заполнение; заполнение под углом 45°; конусное заполнение.

После определения общего вектора узловых перемещений находят элементные векторы узловых перемещений. Через них путём интерполяции с помощью функций формы вычисляются перемещения любых точек элементов. Для стержневых элементов по известным векторам узловых перемещений находят вектора силы, а затем методами сопротивления материалов вычисляют внутренние силы, моменты и напряжения. Для плоских и объёмных элементов, дифференцируя аппроксимирующие функции перемещений внутри элементов, находят деформации и по закону Гука вычисляют напряжения.

Для конечных элементов первого порядка с линейной интерполяцией

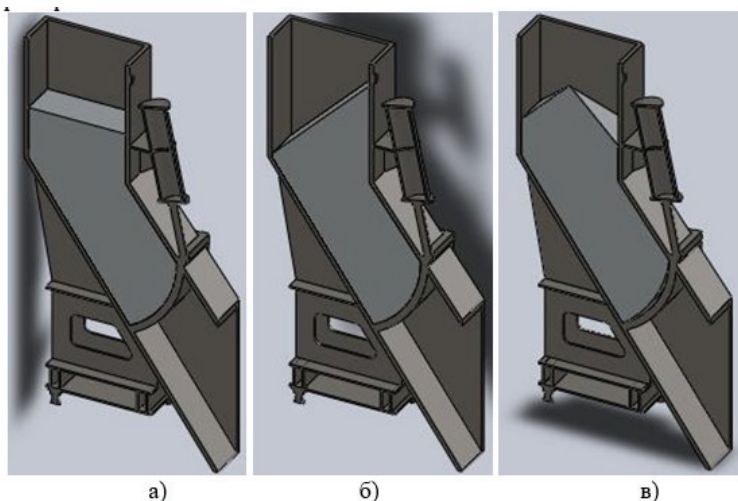


Рис. 1. Продольный разрез модели дозатора с различными формами заполнения горной массой: а — горизонтальное заполнение; б — заполнение под углом 45°; в — конусное заполнение
Fig. 1. Longitudinal section of the dispenser model with various forms of rock filling: a — horizontal filling; b — filling at an angle of 45°; c — cone filling

перемещений величины деформаций и напряжений внутри элементов получаются постоянными, следовательно, на межэлементных границах эти результаты будут иметь разрывы. Для квадратичных элементов, а также для элементов более высокого порядка с нелинейной интерполяцией перемещений величины деформаций и напряжений внутри элементов изменяются. Они вычисляются приближённо в точках интегрирования Гаусса, а затем экстраполируются на узлы и интерполируются к центру тяжести элемента. На границах элементов поля деформаций и напряжений имеют конечные разрывы. С целью уточнения результатов вычислений в выбранном узле берут среднюю величину узловых значений напряжений, найденных для всех элементов, примыкающих к этому узлу. Более точные результаты получаются с помощью теории сопряжённой аппроксимации.

Для проведения статического расчёта методом конечных элементов [18] нагрузка моделируется силой тяжести горной массы с гравитационным ускорением $9,81 \text{ м/с}^2$ перпендикулярно опорной плоскости. Для расчёта параметров напряженно-деформированного состояния ограничения в опорных точках 2–4 (рис. 2) моделируются фиксированной геометрией, а в опорной точке 1 – роликом скольжения.

Результаты

Проведено моделирование напряженно-деформированного состояния дозатора с различными формами заполнения горной массой с использованием МКЭ.

Деформируемое тело (конструкция) разбивалось на конечные элементы. Конечные элементы имеют различную форму и различные размеры. В результате разбивки создавалась

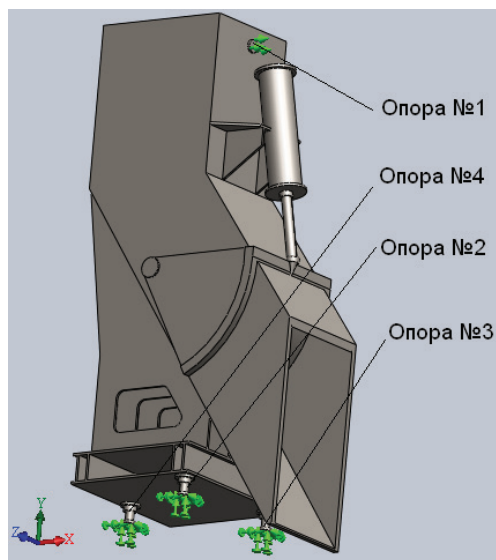


Рис. 2. Обозначение опорных точек, выбранных для расчёта реактивных сил
 Fig. 2. Designation of the reference points selected for the calculation of reactive forces

сетка из границ элементов. Пересечения этих границ образовывали узлы. На границах и внутри элементов создавались дополнительные узловые точки. Композиция из всех конечных элементов и узлов составляла конечно-элементную модель деформируемого тела. Конечные элементы наделялись различными свойствами, которые задавались с помощью констант и выбора нужных математических соотношений.

С помощью вариационных принципов, применяемых ко всей конечно-элементной модели, составлена общая система уравнений равновесия всей конечно-элементной модели исследуемого деформируемого тела и проведено моделирование процессов дискретизации исследуемого объекта на конечное множество элементов и кусочно-элементная аппроксимация исследуемых функций.

Результаты расчёта опорных реакций в направлениях X, Y и Z при разных вариантах заполнения дозатора представлены в табл. 1–3.

Таблица 1

Результаты расчёта реактивных сил в опорах № 1–4 при горизонтальном заполнении дозатора горной массой, Н

Results of calculation of reactive forces in supports no. 1–4, with horizontal filling of the dispenser with rock mass, N

| № опоры | Направление силы реакции, Н | | | Результирующая сила, Н |
|-------------------------|-----------------------------|----------------------|--------------------|------------------------|
| | X | Y | Z | |
| 1 | $-4,89 \cdot 10^3$ | 0,222 | 1,35 | $4,89 \cdot 10^3$ |
| 2 | 316 | $1,31 \cdot 10^5$ | $-3,13 \cdot 10^4$ | $1,35 \cdot 10^5$ |
| 3 | 674 | $1,3 \cdot 10^5$ | $3,11 \cdot 10^4$ | $1,34 \cdot 10^5$ |
| 4 | $3,92 \cdot 10^3$ | $1,58 \cdot 10^5$ | 207 | $1,58 \cdot 10^5$ |
| Сила реакции всего тела | 13,1602 | $4,19995 \cdot 10^5$ | 3,673 | $4,19995 \cdot 10^5$ |

Таблица 2

Результаты расчёта реактивных сил в опорах № 1–4 при заполнении дозатора горной массой под углом 450, Н

The results of the calculation of reactive forces in supports no. 1–4, when filling the dispenser with rock mass at an angle of 450, N

| № опоры | Направление силы реакции, Н | | | Результирующая сила, Н |
|-------------------------|-----------------------------|----------------------|--------------------|------------------------|
| | X | Y | Z | |
| 1 | $-7,7 \cdot 10^3$ | 0,249 | 0,24 | $7,7 \cdot 10^3$ |
| 2 | $1,03 \cdot 10^3$ | $1,3 \cdot 10^5$ | $-3,09 \cdot 10^4$ | $1,33 \cdot 10^5$ |
| 3 | $1,42 \cdot 10^3$ | $1,29 \cdot 10^5$ | $3,06 \cdot 10^4$ | $1,32 \cdot 10^5$ |
| 4 | $5,24 \cdot 10^3$ | $1,61 \cdot 10^5$ | 238 | $1,61 \cdot 10^5$ |
| Сила реакции всего тела | 1,22095 | $4,19987 \cdot 10^5$ | $-4,18493$ | $4,19987 \cdot 10^5$ |

Таблица 3

Результаты расчёта реактивных сил в опорах № 1–4 при конусном заполнении дозатора горной массой, Н

Results of calculation of reactive forces in supports no. 1–4, with conical filling of the dispenser with rock mass, N

| № опоры | Направление силы реакции, Н | | | Результирующая сила, Н |
|-------------------------|-----------------------------|----------------------|--------------------|------------------------|
| | X | Y | Z | |
| 1 | $-4,45 \cdot 10^3$ | 0,0157 | -0,05 | $4,45 \cdot 10^3$ |
| 2 | 84,2 | $1,31 \cdot 10^5$ | $-3,14 \cdot 10^4$ | $1,35 \cdot 10^5$ |
| 3 | 500 | $1,3 \cdot 10^5$ | $3,12 \cdot 10^4$ | $1,34 \cdot 10^5$ |
| 4 | $3,86 \cdot 10^3$ | $1,59 \cdot 10^5$ | 231 | $1,59 \cdot 10^5$ |
| Сила реакции всего тела | -10,5487 | $4,19959 \cdot 10^5$ | 0,87293 | $4,19959 \cdot 10^5$ |

Реакции опор вычисляют из соответствующих уравнений общей системы, взятой до её модификации, учитывающей связи. Используя глобальную нумерацию компонентов векторов узловых сил, можно вычислить реакции в опорных узлах.

Для удобства анализа полученных результатов расчёта опорных реакций целесообразно представить их в процентном соотношении, принимая результаты при горизонтальном заполнении за 100%. Графическое представ-

ление процентного соотношения силы реакции опор в направлениях X, Y и Z при разных вариантах заполнения дозатора показано на рис. 3–5.

Анализ диаграммы нагружения опор в направлении X (рис. 3) показывает, что сила реакции при конусном заполнении дозаторов уменьшается на опоре № 3 на 25,8%, а на опоре № 2 на 74,4%, что свидетельствует о большом запасе прочности опоры № 2 при данном виде заполнения дозатора. В то же время при заполнении дозатора под углом 45° наблюдается значительное превышение сил реакции опоры (до 325% на опоре № 2), что свидетельствует о необходимости увеличения коэффициента запаса как минимум до 3,5.

Анализ диаграммы нагружения опор в направлении Y (рис. 4) показывает, что сила реакции при конусном заполнении дозаторов уменьшается на опоре № 1 практически до нуля, а на опоре № 4 превышает на 11,6% расчетную

нагрузку, что свидетельствует о большом запасе прочности опоры № 1 при данном виде заполнения дозатора, однако коэффициент запаса прочности на опоре № 4 необходимо увеличить до 1,2. В то же время при заполнении дозатора под углом 45° наблюдается превышение сил реакции опоры (до 115% на опоре № 4), что свидетельствует о необходимости увеличения коэффициента запаса прочности как минимум до 1,5.

Анализ диаграммы нагружения опор в направлении Z (рис. 5) показывает, что сила реакции при конусном заполнении дозаторов уменьшается на опоре № 1 до 7%, а при заполнении дозатора под углом 45° увеличивается до 112% от расчетного значения, в то время как на остальных опорах перегрузок не выявлено. Наблюдаемый дисбаланс свидетельствует о значительном расхождении параметров нагружения в зависимости от формы заполнения

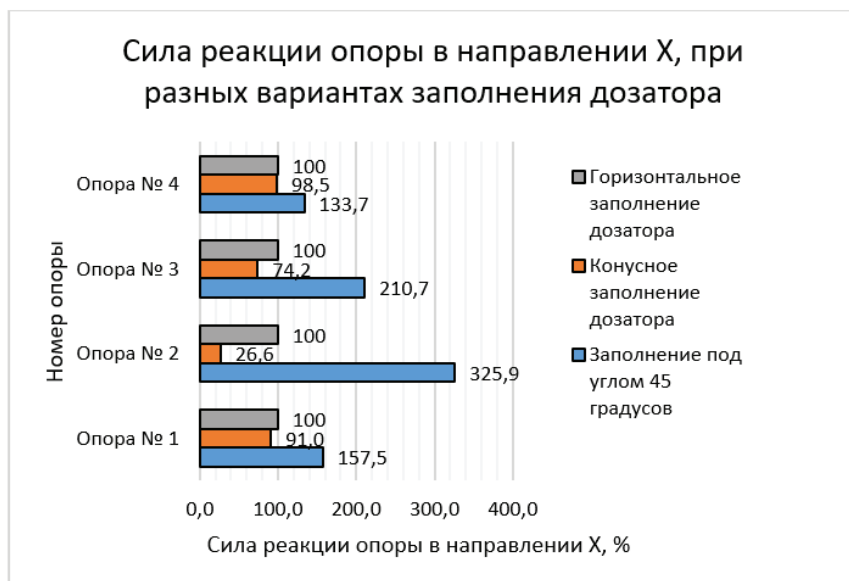


Рис. 3. Процентное соотношение силы реакции опор в направлении X при разных вариантах заполнения дозатора

Fig. 3. The percentage ratio of the reaction force of the supports in the X direction, with different filling options of the dispenser

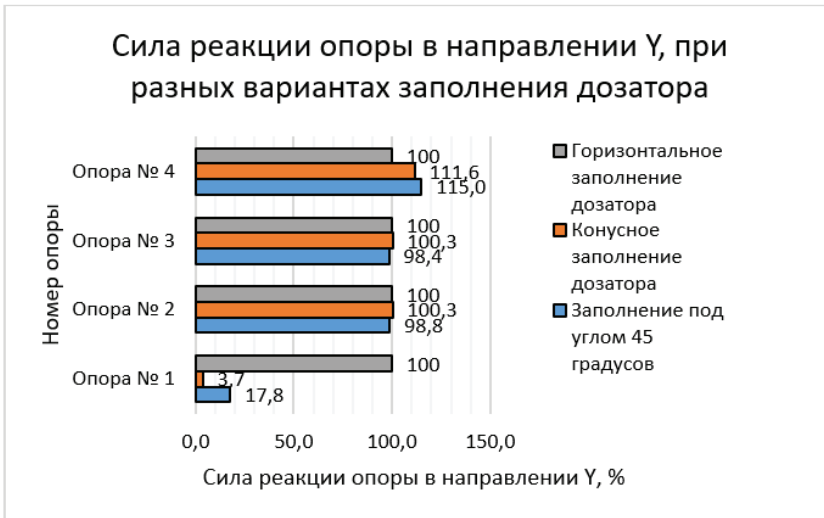


Рис. 4. Процентное соотношение силы реакции опор в направлении Y при разных вариантах заполнения дозатора
 Fig. 4. The percentage ratio of the reaction force of the supports in the Y direction, with different filling options of the dispenser

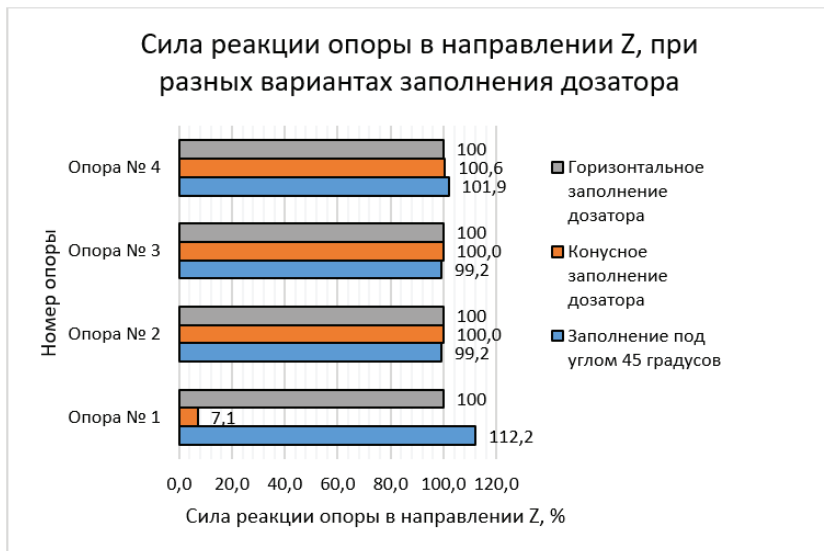


Рис. 5. Процентное соотношение силы реакции опор в направлении Z при разных вариантах заполнения дозатора
 Fig. 5. The percentage ratio of the reaction force of the supports in the Z direction, with different filling options of the dispenser

дозатора и требует увеличения коэффициента запаса, как минимум до 1,2.

В результате векторного сложения результирующий вектор силы реакции

опоры № 1 составляет 150%, опоры № 2–327%, опоры № 3–207%, опоры № 4–175% от расчетного значения. Проведенный анализ показал необхо-

димось увеличения коэффициента запаса прочности конструкции дозатора до 3,5.

Обсуждение результатов

В большинстве случаев несоизмерительные системы, полностью установленные на тензодатчиках, имеют равномерно распределенную нагрузку на датчики, без значительных асимметрий. Определение требуемой номинальной шкалы тензодатчика производят посредством оценки реальной нагрузки на каждую точку опоры дозатора во всех условиях эксплуатации и в течение всего срока службы системы взвешивания, включая экстремальные значения.

Номинальная шкала тензодатчика обычно определяется, исходя из следующих параметров [19].

1. Сила тяжести постоянной нагрузки, которая включает в себя вес всей конструкции бункера.

2. Вес горной массы, или вес нетто. Определяется вместимостью бункера и удельным весом горной массы, которую может вместить бункер.

3. Сумма силы тяжести постоянной нагрузки и веса горной массы, или веса нетто.

4. Количество опор, на которые опирается дозатор. Чаще всего используют от трех до шести опор.

5. Теоретическая статическая нагрузка на опору, которая вычисляется как результат деления суммы постоянной нагрузки от силы тяжести бункера и веса горной массы на количество опор.

Номинальная шкала тензодатчика должна превышать теоретическую статическую нагрузку на опору, умноженную на коэффициент запаса прочности k . Значение коэффициента запаса прочности варьируется от 1,25 до 2,5, он необходим для увеличения номиналь-

ной шкалы от 25% до 250% от теоретической статической нагрузки [20].

Выбор коэффициента запаса прочности зависит от наличия статических или динамических нагрузок, вибраций, неравномерного распределения нагрузок, асимметрий, ударов или нагрузок качения.

Результаты проведенного статического исследования показали необходимость корректировки коэффициента запаса прочности k , так как силы реакции опор при разных вариантах заполнения дозатора превышают расчетное номинальное значение на опоре № 2 более чем в 3 раза при ссыпании горной массы в дозатор под углом 45° (см. рис. 3).

Заключение

Таким образом, результаты проведенных исследований подтвердили теоретические предположения, что позволяет сделать следующие выводы.

1. Установлено, что силы реакции опор дозатора при различных вариантах заполнения его горной массой имеют значительный разброс значений. Наибольшая нагрузка воздействует на опоры № 2 и № 3 дозатора при заполнении его горной массой под углом 45° (см. рис. 1, б). В результате сравнительного анализа отклонения значений опорных реакций, возникающих при заполнении под углом 45° и конусном заполнении от горизонтального заполнения при ссыпании горной массы в дозатор, получено максимальное значение нагружения опоры, составляющее 207% на 3-й и 327% на 2-й опоре. Следовательно, при проектировании несоизмерительной системы дозатора следует учитывать неравномерность ссыпания горной массы.

2. Для предотвращения деформации опор дозаторов при срабатывании системы защиты от перегрузки, выпол-

ненной на базе тензометрических методов, показана необходимость корректировки коэффициента запаса прочности при расчете номинальной нагрузки, воспринимаемой тензодатчиком. При выборе коэффициента запаса прочности предлагается увеличить коэффициент запаса до 3,5 или провести статическое исследование системы, учитывать форму ссыпания горной массы в дозатор.

3. Критериями оптимизации работы весоизмерительной системы дозатора при корректировке номинальной шкалы датчиков должны являться: корректность расчета постоянной нагрузки и неравномерность её распределения, возможность переполнения ёмкости дозатора, вероятность сейсмических воздействий, динамические воздействия и воздействия окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чендырев М. А., Журавлёв А. Г. Рационализация геометрических параметров приемных бункеров конусных дробилок крупного дробления при автомобильном транспорте // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 5–1. — С. 158–170. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_51_0_158.

2. Rostami J., Chang S. H. A Closer Look at the Design of Cutterheads for Hard Rock Tunnel-Boring Machines // Engineering. 2017, vol. 3, no. 6, pp. 892–904. DOI: 10.1016/j.eng.2017.12.009.

3. Han M. D., Cai Z. X., Qu C. Y., Jin L. S. Dynamic numerical simulation of cutterhead loads in TBM tunnelling // Tunnelling and Underground Space Technology. 2017, vol. 70, pp. 286–298. DOI: 10.1016/j.tust.2017.08.028.

4. Леонтьев А. А., Таугер В. М., Волков Е. Б. Динамика груженого скипа шахтной пневмоподъемной установки в период разгона // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. — 2021. — № 1. — С. 115–121. DOI: 10.21440/0536-1028-2021-1-115-121.

5. Tunc D., Balci C. Investigations into the cutting characteristics of CCS type disc cutters and the comparison between experimental, theoretical and empirical force estimations // Tunnelling and Underground Space Technology. 2015, vol. 45, pp. 84–98. DOI: 10.1016/j.tust.2014.09.009.

6. Залазинский А. Г. Мониторинг технического состояния рудничных установок главного подъема // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. — 2022. — № 1. — С. 84–91. DOI: 10.21440/0536-1028-2022-1-84-91.

7. Волежжанин И. А., Макаров В. Н., Чуркин Д. И., Макаров Н. В. Повышение ремонтпригодности горного оборудования на базе матриц переменной кривизны // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № 4. — С. 172–178. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-4-0-172-178.

8. Gubanov S., Petsyk A., Komissarov A. Simulation of stresses and contact surfaces of disk rolling cutters with the rock when sinking in mixed soils // E3S Web of Conferences. 2020, vol. 177, 03008. DOI: 10.1051/e3sconf/202017703008.

9. Юдин А. В., Шестаков В. С., Саитов В. И., Абдулкаримов М. К. К определению вместимости бункера в составе перегрузочной системы при комбинированном транспорте // Известия вузов. Горный журнал. — 2020. — № 4. — С. 99–112. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-4-99-112.

10. Носенко А. С., Домницкий А. А., Носенко В. В., Зубов В. В., Кирсанов И. А. Теоретические исследования бункер-перегрузателей с гравитационной загрузкой // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 8. — С. 111–120. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_8_0_111.

11. Davydov S. Y., Zolkin A. P., Shvarev V. S., Zolkina L. A. Determination of the Dynamic Characteristics of a Charge in the Bucket of a Steeply Inclined Pivoted Bucket Belt Conveyor // *Refractories and Industrial Ceramics*. 2017, vol. 58 (1), pp. 10–15. DOI: 10.1007/s11148-017-0045-8.

12. Sładkowski A., Yudin A., Komissarov A., Lagunova Y., Akhmetova M., Stolpovskikh I. Calculation of parameters and design of the movable transfer station with vibrating screen feeder for the conveyor system of deep queries // *International Journal of Engineering and Technology (UAE)*. 2018, vol. 7 (2), pp. 148–151. DOI: 10.14419/ijet.v7i2.23.11904.

13. Осипов П. А. Обзор технических решений измерения массы породы в ковше электрических одноковшовых экскаваторов // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2021. – № 11–1. – С. 229–238. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_111_0_229.

14. Wauge D. Payload Estimation for Electric Mining Shovels: PhD Thesis. Mechanical Engineering, the University of Queensland, Australia, 2008, 246 p.

15. Slob J. J., McAree P. R., Steinbuch M. and Siegrist P. M. Payload Estimation for Electric Mining Shovels using a Load Sensing Pin: Traineeship report, Eindhoven University of Technology, 2007, 51 p.

16. Rakhutin M., Simba N., Khoroshavin S. Analysis of the dependence of the stressed state of the tracked track of a career excavator from an angle slope // *E3S Web of Conferences*. 2020, vol. 177, 03015. DOI: 10.1051/e3sconf/202017703015.

17. Velikanov V. S., Dyorina N. V., Suslov N. M., Luntsova A. I., Rabina E. I. Automation of design for dynamic loading at the designing stage of mining machinery // *Journal of Physics: Conference Series*. 2019, vol. 1399 (3), 033010. DOI: 10.1088/1742–6596/1399/3/033010.

18. Латышев О. Г., Прищепина Д. В. Моделирование трещиноватого породного массива и исследование его напряженно-деформированного состояния методом конечных элементов // *Горный журнал*. – 2020. – № 5. – С. 11–14. DOI: 10.17580/gzh.2020.05.01.

19. Давиденко А. Н., Давиденко П. Н., Карлов Д. Н., Зуева В. Н. Разработка метода расчёта многодиапазонного тензодатчика // *Международный научно-исследовательский журнал*. – 2022. – № 10(124). DOI: 10.23670/IRJ.2022.124.4.

20. Жабко А. В., Жабко Н. М. Расчет критериев безопасности и критических значений контролируемых показателей при мониторинге безопасности намывных гидротехнических сооружений // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2022. – № 11–2. – С. 25–38. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_112_0_25. **МИАБ**

REFERENCES

1. Zhuravlev A. G., Chendyrev M. A. Rationalization of geometric parameters receptions bunkers primary gyratory cone crusher for automotive transport. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 5–1, pp. 158–170. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_51_0_158.

2. Rostami J., Chang S. H. A Closer Look at the Design of Cutterheads for Hard Rock Tunnel-Boring Machines. *Engineering*. 2017, vol. 3, no 6, pp. 892–904. DOI: 10.1016/j.eng.2017.12.009.

3. Han M. D., Cai Z. X., Qu C. Y., Jin L. S. Dynamic numerical simulation of cutterhead loads in TBM tunneling. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2017, vol. 70, pp. 286–298. DOI: 10.1016/j.tust.2017.08.028.

4. Leontiev A. A., Tauger V. M., Volkov E. B. The dynamics of a laden skip of the shaft pneumatic winding plant during acceleration. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyy zhurnal [News of the Higher Institutions. Mining Journal]*. 2021, no. 1, pp. 115–121. [In Russ]. DOI: 10.21440/0536–1028-2021–1-115–121.

5. Tumac D., Balci C. Investigations into the cutting characteristics of CCS type disc cutters and the comparison between experimental, theoretical and empirical force estimations.

Tunnelling and Underground Space Technology. 2015, vol. 45, pp. 84–98. DOI: 10.1016/j.tust.2014.09.009.

6. Zalazinskii A. G. Monitoring the technical condition of the main mine hoist. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal. Minerals and Mining Engineering*. 2022, no. 1, pp. 84–91. [In Russ]. DOI: 10.21440/0536-1028-2022-1-84–91.

7. Volegzhanin I. A., Makarov V. N., Churkin D. I., Makarov N. V. Improvement of maintainability of mining equipment based on using female die of variable curvature. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no. 4, pp. 172–178. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-4-0-172–178.

8. Gubanov S., Petsyk A., Komissarov A. Simulation of stresses and contact surfaces of disk rolling cutters with the rock when sinking in mixed soils. *E3S Web of Conferences*. 2020, vol. 177, 03008. DOI: 10.1051/e3sconf/202017703008.

9. Iudin A. V., Shestakov V. S., Saitov V. I., Abdulkarimov M. K. Determining the capacity of a bunker as a part of the handling system with combined transport. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal [News of the Higher Institutions. Mining Journal]*. 2020, no. 4, pp. 99–112. [In Russ]. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-4-99–112.

10. Nosenko A. S., Domnitsky A. A., Nosenko V. V., Zubov V. V., Kirsanov I. A. Theoretical study of bunker loaders with gravity feeding. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 8, pp. 111–120. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_8_0_111.

11. Davydov S. Y., Zolkin A. P., Shvarev V. S., Zolkina L. A. Determination of the Dynamic Characteristics of a Charge in the Bucket of a Steeply Inclined Pivoted Bucket Belt Conveyor. *Refractories and Industrial Ceramics*. 2017, vol. 58 (1), pp. 10–15. DOI: 10.1007/s11148-017-0045-8.

12. Śladkowski A., Yudin A., Komissarov A., Lagunova Y., Akhmetova M., Stolpovskikh I. Calculation of parameters and design of the movable *transfer station with vibrating screen feeder for the conveyor system of deep queries*. *International Journal of Engineering and Technology (UAE)*. 2018, vol. 7 (2), pp. 148–151. DOI: 10.14419/ijet.v7i2.23.11904.

13. Osipov P. A. The technical solutions overview for rock mass measuring in the electric single-bucket excavators dipper. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 11–1, pp. 229–238. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_11_0_229.

14. Waage D. Payload Estimation for Electric Mining Shovels: PhD Thesis. Mechanical Engineering, the University of Queensland, Australia, 2008, 246 p.

15. Slob J. J., McAree P. R., Steinbuch M. and Siegrist P. M. Payload Estimation for Electric Mining Shovels using a Load Sensing Pin: Traineeship report, Eindhoven University of Technology, 2007, 51 p.

16. Rakhutin M., Simba N., Khoroshavin S. Analysis of the dependence of the stressed state of the tracked track of a career excavator from an angle slope. *E3S Web of Conferences*. 2020, vol. 177, 03015. DOI: 10.1051/e3sconf/202017703015.

17. Velikanov V. S., Dyorina N. V., Suslov N. M., Luntsova A. I., Rabina E. I. Automation of design for dynamic loading at the designing stage of mining machinery *Journal of Physics: Conference Series*. 2019, vol. 1399 (3), 033010. DOI: 10.1088/1742–6596/1399/3/033010.

18. Latyshev O. G., Prishchepa D. V. Fractured rock mass modeling and stress–strain analysis using the finite element method information about authors. *Gornyi Zhurnal*. 2020, no. 5, pp. 11–14. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2020.05.01.

19. Davydenko A. N., Davidenko P. N., Karlov D. N., Zuev V. N. Development of a method for calculating of a multi-range strain gauge. *International Research Journal*. 2022, no. 10(124). [In Russ]. DOI: 10.23670/IRJ.2022.124.4.

20. Zhabko A. V., Zhabko N. M. Calculation of safety criteria and critical values of controlled indicators during safety monitoring filling hydrotechnical structures. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 11–2, pp. 25–38. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_11_0_25.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Засыпкина Светлана Александровна — канд. техн. наук, доцент, Технический университет УГМК, 624091, Верхняя Пышма, Свердловская область, Успенский проспект, 3, Россия, e-mail: s.zasipkina@tu-ugmk.com;

Карякин Александр Ливиевич — докт. техн. наук, профессор <https://orcid.org/0000-0001-6196-3263>, Уральский государственный горный университет, 620144 Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Россия, e-mail: karyakin.a@ursmu.ru;

Пашко Алексей Дмитриевич — канд. техн. наук, доцент, Технический университет УГМК, 624091, Верхняя Пышма, Свердловская область, Успенский проспект, 3, Россия, e-mail: a.pashko@tu-ugmk.com.

Для контактов: *Засыпкина Светлана Александровна*, e-mail: s.zasipkina@tu-ugmk.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Zasypkina S. A., Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, UMMC Technical University, 624091, Sverdlovsk region, Verkhnyaya Pyshma, Uspensky Ave., 3, Russia, e-mail: s.zasipkina@tu-ugmk.com;

Karyakin A. L., Dr. Sci. (Eng.), Professor, Ural State Mining University, 620144, Russia, Yekaterinburg, st. Kuibyshev, 30, Russia, e-mail: karyakin.a@ursmu.ru;

Pashko A. D., Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, UMMC Technical University, 624091, Sverdlovsk region, Verkhnyaya Pyshma, Uspensky Ave., 3, Russia, e-mail: a.pashko@tu-ugmk.com.

Corresponding author: *Zasypkina S. A.*, e-mail: s.zasipkina@tu-ugmk.com.

Получена редакцией 15.05.2023; получена после рецензии 04.09.2023; принята к печати 10.12.2023.

Received by the editors 15.05.2023; received after the review 04.09.2023; accepted for printing 10.12.2023.

